

УДК 552.11+552.323.6

## О ПРОИСХОЖДЕНИИ КИМБЕРЛИТОВ (АНАЛИЗ ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ)

© 2004 г. С. И. Костровицкий, Т. Морикио, И. В. Серов, А. Я. Ротман

Представлено академиком Н.В. Соболевым 28.06.2004 г.

Поступило 05.07.2004 г.

Большинство гипотез происхождения кимберлитов [1–6] объясняет специфический состав пород, проявляющийся в очень высоком уровне содержания так называемых несовместимых элементов (в первую очередь лантаноидов цериевой группы), низкой степенью частичного плавления литосферной мантии при формировании магматических кимберлитовых очагов. При этом разные гипотезы отличаются друг от друга в основном разными составами мантийного плавящегося субстрата, а также разной глубиной источника вещества [5, 7–8]. В качестве основного обычно указывается астеносферный источник, но при этом не обсуждается, какова его связь с магматическим очагом. При анализе изотопно-геохимических данных, полученных для представительной коллекции кимберлитов и родственных пород Сибирской платформы, мы прежде всего акцентировали внимание на изучении корреляционных связей изотопно-геохимического и химического составов пород, что, на наш взгляд, позволяет уточнить модель формирования кимберлитов.

Авторами изучена коллекция образцов кимберлитов и родственных пород из разных полей, в том числе Мало-Ботуобинского, Далдынского, Алакитского, Верхне-Мунского, Куойского, Мало-Куонамского, Лучаканского, Дюкенского, Ары-Мастахского, Староречинского (участок Номохтоох), Орто-Ыаргынского, Харамайского, Ингашинского. Химический (методом РФА) и микроэлементный (методом ICP-MS) составы пород определены в Институте геохимии СО РАН. Sr–Nd изотопные определения для пород сделаны в японском Уни-

верситете г. Шинши на масс-спектрометре “Finnigan MAT 262”.

Кимберлиты представляют собой гетерогенную породу, содержащую в своем составе, помимо магматических компонентов, ксенолиты мантийных пород, пород кристаллического фундамента, осадочного чехла и испытавшую в разной степени гидротермально-метасоматическую переработку. При отборе образцов мы пытались свести к минимуму все искажающие первичный состав факторы, – исследовались только массивные разновидности порфировых кимберлитов, не содержащие видимых ксенолитов и характеризующиеся минимальной степенью изменения. По составу изученные породы могут быть разделены на четыре генетические группы: 1. Кимберлиты, принадлежащие к алмазоносным южным полям Якутской провинции (в приведенном выше списке – первые 4 поля). 2. Неалмазоносные и убогоалмазоносные кимберлиты северных полей Якутской провинции (остальные поля в списке, кроме последнего). Существенные отличия по составу от классических кимберлитов 1-й группы (повышенное содержание  $\text{FeO}_{\text{общ}}$  (до 14–15 мас.%),  $\text{TiO}_2$  (до 4–5 мас.%),  $\text{K}_2\text{O}$  (до 4–5 мас.%)) являются основанием для пересмотра классификационного положения большей части кимберлитов северных полей и отнесения их или к щелочным пикритам, или к самостоятельному типу пород. Тем не менее в настоящей работе мы будем придерживаться традиционной классификации. 3. Кимберлиты типа 2 (оранжеиты) Ингашинского поля (Присаянье). 4. Карбонатиты, образующие трубки в пределах кимберлитовых полей Прианабарья (Староречинское, Орто-Ыаргынское).

По поводу выделения третьей группы следует заметить, что на основе изучения минералогического и геохимического составов пород [9] был сделан вывод, что жильные кимберлиты Ингашинского поля следует относить к лампроитам. Однако из приведенных авторами [9] анализов пород видно, что Ингашинские жилы являются неоднородными по составу. Большинство жил характеризуется такими особенностями состава,

*Институт геохимии им. А.П. Виноградова  
Сибирского отделения Российской Академии наук,  
Иркутск*

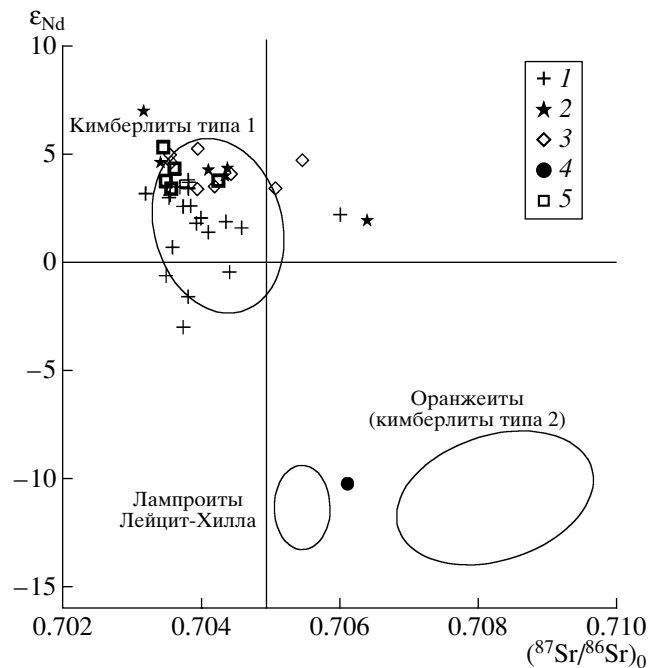
*Университет Шинши, г. Мацумото, Япония  
АК “АПРОСА”,  
г. Мирный, Республика Саха (Якутия)  
Алмазная лаборатория ЦНИГРИ,  
г. Мирный, Республика Саха (Якутия)*

как высокое содержание  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  и  $\text{K}_2\text{O}$  (соответственно  $>40$ ,  $2.2\text{--}3.9$  и  $1.4\text{--}2.8$  мас.%), отсутствие карбонатной компоненты, наличие акцессорных минералов – прайдерит, армалколит, которые действительно указывают на их сходство с оливиновыми лампроитами. Но одна из жил (Правобережная или № 6) выполнена, на наш взгляд, типичным по составу кимберлитом (авторы цитированной выше работы отнесли их к карбонатизированным флогопит-оливиновым лампроитам). В минералогическом плане это существенно флогоцит-карбонат-оливиновая (оливин замещен серпентином) порода мелкопорфировой структуры. Особенностью химического состава является типичное для кимберлитов содержание  $\text{SiO}_2$  (26.34 мас.%), относительно низкое содержание  $\text{TiO}_2$  (до 1 мас.%) и относительно высокое содержание  $\text{K}_2\text{O}$  (1.44 мас.%). Нами изучен изотопно-геохимический состав породы, выполняющей только жилу № 6.

В пределах первой и второй групп кимберлиты широко варьируют по химическому составу. Выделены следующие типы кимберлитов и родственных пород: 1) высокомагнезиальный, низкокалиевый (трубки Интернациональная, Айхал, Заполярная, Обнаженная); 2) магнезиально-железистый, низкокалиевый (трубки Удачная, Мир, Липа); 3) железотитанистый, иногда высококалиевый (трубки Лось, Арктика, Отрицательная, Сербияна из Прианабарья).

**Изотопные исследования.** В координатах  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 - \epsilon_{\text{Nd}}$  (рис. 1) изотопные характеристики кимберлитов и родственных пород 1-й и 2-й групп Сибирской платформы отвечают таковым для изученных ранее [4, 10, 11] базальтоидных кимберлитов типа 1 из разных провинций Мира, – большинство точек изотопных составов попадают в область примитивной и слабо истощенной мантии.

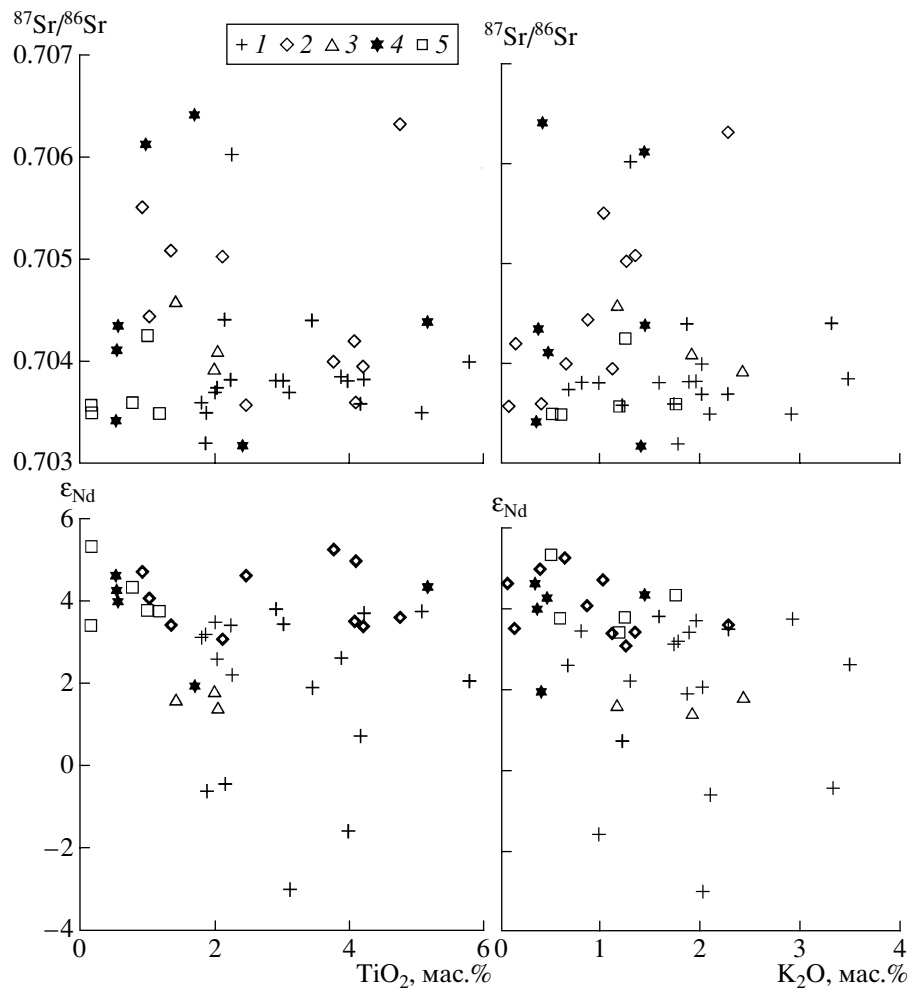
Несколько проб 2-й группы попадают в область слабо обогащенной мантии, не выходя, впрочем, за пределы поля составов кимберлитов типа 1. Обращает на себя внимание, что алмазоносные кимберлиты группы 1 по сравнению с кимберлитами северных полей отличаются более истощенным по Nd мантийным источником. Исключение представляет только кимберлит трубки Заполярная (Верхне-Мунское поле), характеризующийся повышенной степенью серпентинизации. С другой стороны, кимберлиты северных полей неоднородны по изотопным характеристикам. Величина  $\epsilon_{\text{Nd}}$  для кимберлитов и родственных пород Прианабарья варьирует в широком интервале ( $-1.58 \dots +3.81$ ), а для пород Куойского поля – в относительно узком ( $+3.08 \dots +4.62$ ), характеризую более истощенный в целом источник. Ингашинские кимберлиты из Присаянья (группа 3) демонстрируют изотопный состав Sr и Nd, приближающийся по



**Рис. 1.** График изотопных составов кимберлитов и родственных пород Сибирской платформы в координатах  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 - \epsilon_{\text{Nd}}$ . Поля составов для кимберлитов и лампроитов приведены по данным [2, 4, 10, 11]. 1–4 – кимберлиты из полей: 1 – Прианабарья, 2 – южных алмазоносных, 3 – Куойского, 4 – Ингашинского (Присаянье); 5 – карбонатиты Прианабарья.

характеристикам (рис. 1), с одной стороны, к кимберлитам типа 2 (оранжеитам), а с другой, к лампроитам Лейцит-Хилла. Однако особенности минерального и химического составов пород указывают на то, что первый вариант более предпочтителен. Заметим, что поскольку в пределах Сибирской платформы кимберлиты типа 2 ранее не были известны, выделение их среди Ингашинских жил носит принципиальный характер. Карбонатиты Прианабарья (4-я группа) характеризуются по изотопным данным относительно высокой истощенностью мантийного источника, впрочем сопоставимой с таковой для алмазоносных кимберлитов.

С целью изучения зависимости  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  изотопных отношений от состава исследуемых пород нами построены соответствующие графики этих величин от вариаций “показательных” оксидов  $\text{TiO}_2$  и  $\text{K}_2\text{O}$ . Последние в основном демонстрируют (рис. 2) независимость значений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  начальных отношений от содержания оксидов  $\text{TiO}_2$  и  $\text{K}_2\text{O}$ . График  $\text{K}_2\text{O} - ^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  указывает на слабую обратную зависимость изотопного отношения от содержания  $\text{K}_2\text{O}$ . Заметим, что изотопные отношения Sr и Nd являются также независимыми величинами и от уровня магнезиальности–железистости изученных кимберлитов.

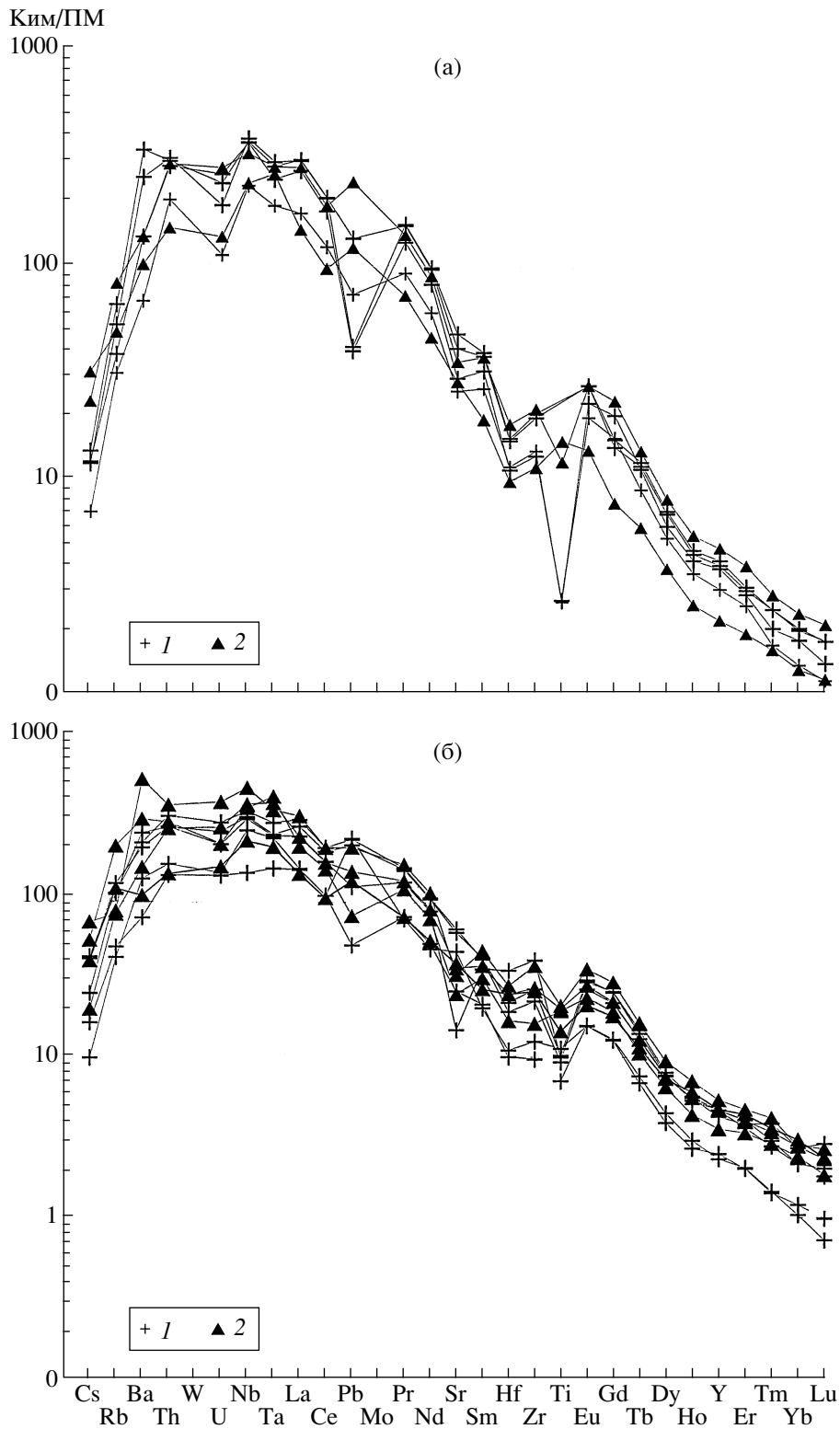


**Рис. 2.** Графики зависимости изотопного состава Sr и Nd от содержания  $\text{TiO}_2$  и  $\text{K}_2\text{O}$  в кимберлитах и родственных породах Сибирской платформы. Породы из полей: 1 – Прианабарья, 2 – Куойского, 3 – Харамайского, 4 – южных алмазных; 5 – карбонатиты Прианабарья.

Микроэлементный состав. Сопоставление микроэлементных составов кимберлитов из разных трубок затруднено из-за их широкой изменчивости даже в пределах одной трубки. Данные по содержанию отдельных редких элементов для разных типов кимберлита из таких трубок, как Айхал, Интернациональная, Обнаженная (по нашим данным и литературным), отличаются друг от друга нередко в 2–5 раз, а иногда и на порядок. Основными факторами вариации состава являются процессы дифференциации кимберлитового расплава–флюида при его подъеме из мантийного очага и становлении в трубочном пространстве, а также вторичного преобразования пород (процессы серпентинизации и карбонатизации, выветривания). Путем отбора образцов, характеризующихся максимальной свежестью, мы старались свести к минимуму действие второго фактора. Что касается первого фактора, учесть его влияние практически невозможно. Именно поэтому срав-

нение составов следует проводить, по нашему мнению, ни по абсолютным значениям содержания микроэлементов в отдельных пробах, а по уровню концентраций, характерному для изученных проб.

Анализ полученных данных микроэлементного состава кимберлитов и родственных пород, развитых в пределах Сибирской провинции, указывает на наличие четырех основных геохимических типов, различающихся по уровню концентраций некогерентных элементов и соответствующих выделенным выше четырем группам пород. Наиболее поразительной особенностью распределения некогерентных элементов в пределах каждой из групп пород является факт независимости или слабой зависимости уровня концентраций элементов от петрохимического состава. Из приведенных спайдерграмм (рис. 3) видно, что и высокомагнезиальные, низкотитанистые, низкокалиевые кимберлиты и относительно железис-



**Рис. 3.** Спайдерграммы распределения редких элементов, нормированных по хондриту [12]. а – кимберлиты из алмазоносных полей: 1 – высокомагнезиальные кимберлиты (трубки Айхал, Интернациональная), 2 – магнезиально-железистые кимберлиты (трубки Удачная, Мир, Липа). б – кимберлиты и родственные породы Прианабарья: 1 – относительно магнезиальные кимберлиты (трубки Университетская, Трудовая Куранахского поля, трубки Харамайского поля), 2 – высокожелезотитанистые породы (трубка Лось Куранахского поля, трубки Лучаканского поля). Ким – кимберлит, ПМ – примитивная мантия.

тые, высокотитанистые в пределах каждой из выделенных групп пород характеризуются как близким уровнем концентраций некогерентных элементов, так и одинаковым их спектром распределения.

Как объяснить факт общей независимости изотопных и геохимических характеристик (по группе некогерентных элементов) от петрохимических в кимберлитовых породах (в пределах поля или даже групп полей)? Обычно предполагается, что разнообразие составов магматических пород связано с процессами дифференциации расплава. Для кимберлитов подобное объяснение навряд ли приемлемо. Во-первых, кимберлиты, отличающиеся по уровню магнезиальности, обычно пространственно разобщены. Как правило, пространственно сближенные трубчатые тела, принадлежащие к одному кусту, характеризуются близкими составами по основным петрогенным оксидам. И во-вторых, даже если допустить, что появление разных типов кимберлитов обязано процессам дифференциации, то и это не объяснит обнаруженный нами факт независимости петрохимических и геохимических характеристик в породах. На наш взгляд, отсутствие корреляции между изотопно-геохимическими и петрохимическими параметрами дает основание для предположения о возможном существовании самостоятельных мантийных источников для петрогенных и редких некогерентных элементов кимберлитов. Предполагается, что мощный поток флюида из астеносферного источника при подъеме в условиях гетерогенной литосферы [13] провоцировал образование локальных кимберлитовых очагов, которые собственно и обусловили образование контрастных петрохимических типов кимберлитов. При этом геохимическая специализация кимберлитов полностью обязана единому (для всех трубок поля, а возможно, даже для нескольких полей одного возраста) мантийному флюиду, который, как правило, резко доминировал в редкометальном балансе гибридного расплава очага.

Таким образом, в нашей модели формирования кимберлитов предполагается, что процессы образования флюида и магматического очага были пространственно разобщены. Близкая точка зрения была высказана ранее отечественными исследователями [14], указавшими на существование двух независимых факторов – флюидного и расплавленного, обусловивших неоднородность составов кимберлитов. В настоящем сообщении не рассматривается проблема происхождения специфичности состава астеносферного источника, которая безусловно связана с процессами плавления мантии. Для нас важен вывод о том, что частичное плавление литосферной мантии, обусловившее специфичность редкоэлементного состава кимберлитов, не имеет отношения к образова-

нию магматического кимберлитового очага, как предполагается многими гипотезами. Этот вывод имеет принципиальное значение при всех петрологических расчетах моделей образования кимберлитов. Следует также иметь в виду, что соотношение флюидного астеносферного и расплавленного компонентов в кимберлитах могло быть различным и, по-видимому, нельзя исключать случаи, когда расплавная составляющая доминирует в общем балансе редкоэлементного состава. Но такие случаи относятся к разряду исключения. Различия в уровнях насыщенности некогерентными элементами для пород северных и южных полей, вероятно, обязаны более интенсивной проработке флюидами менее мощной литосферы на севере Сибирской платформы.

В заключение отметим, что особого внимания заслуживает обнаруженная нами особенность изотопного состава Nd для алмазоносных кимберлитов южных полей, указывающая на относительно высокую истощенность мантийного источника при их формировании. Необходимы дополнительные исследования в этом направлении.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (гранты 02–05–64793, 03–05–65382).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Brey G., Brice W.R., Ellis D.J. et al.* // Earth and Planet. Sci. Lett. 1983. V. 62. P. 63–74.
2. *Доусон Дж.* Кимберлиты и ксенолиты в них. М.: Мир, 1983. 300 с.
3. *Wyllie P.J.* // J. Geophys. Res. 1980. V. 85. P. 6902–6910.
4. *Mitchell R.H.* Kimberlites, Orangeites, and Related Rocks. N.Y.; L.: Plenum Press, 1996. 406 p.
5. *Tainton K.M., McKenzie D.* // J. Petrol. 1994. V. 35. № 3. P. 787–817.
6. *Литвин Ю.А.* В кн.: Очерки физико-химической петрологии. М.: Наука, 1984. № 12. С. 15–38.
7. *Агашев А.М., Орихаши Ю., Ватанабе Т. и др.* // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 1. С. 92–101.
8. *Agashev A.M., Watanabe T., Budaev D.A. et al.* // Geology. 2001. V. 29. № 3. P. 267–270.
9. *Секерин А.П., Меньшагин Ю.В., Егоров К.Н.* // Отеч. геология. 2001. № 6. С. 38–43.
10. *Fraser K.J., Hawkesworth C.J., Erlank A.J. et al.* // Earth and Planet. Sci. Lett. 1985. V. 76. P. 57–70.
11. *Basu A.R., Tatsumoto M.* // Contribs Mineral. and Petrol. 1980. V. 75. P. 43–54.
12. *McDonough M.F., Sun S.-S.* // Chem. Geol. 1995. V. 120. P. 223–253.
13. *Соболев Н.В.* Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск: Наука, 1974. 264 с.
14. *Соболев Н.В., Харькив А.Д., Похиленко Н.П.* // Геология и геофизика. 1986. № 7. С. 18–28.